

УДК 546

УРОВЕНЬ ЧИСТОТЫ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ (ПО МАТЕРИАЛАМ ВЫСТАВКИ-КОЛЛЕКЦИИ ВЕЩЕСТВ ОСОБОЙ ЧИСТОТЫ)

© 2022 г. О. П. Лазукина¹, *, Е. Н. Волкова¹, К. К. Малышев¹, М. Ф. Чурбанов¹

¹Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девятых Российской академии наук,
ул. Тропинина, 49, Нижний Новгород, 603950 Россия

*e-mail: lazukina@ihps-nnov.ru

Поступила в редакцию 18.11.2021 г.

После доработки 08.12.2021 г.

Принята к публикации 10.12.2021 г.

В статье обсуждается уровень чистоты щелочных металлов и их соединений, производимых в России и за рубежом. Рассмотрен примесный состав массива и отдельных щелочных металлов, представленных на Выставке-коллекции веществ особой чистоты, и вклад отдельных групп примесей.

Ключевые слова: Выставка-коллекция веществ особой чистоты, примесный состав, высокочистые щелочные металлы

DOI: 10.31857/S0002337X22030101

ВВЕДЕНИЕ

Данная работа продолжает серию статей, посвященных современному уровню чистоты высокочистых простых веществ и их соединений и его отражению в материалах Выставки-коллекции веществ особой чистоты, работающей на базе ИХВВ РАН с 1974 года. Ранее [1] была рассмотрена 2-я группа Периодической системы (ПС) элементов Д.И. Менделеева; настоящая статья посвящена элементам 1-й группы – щелочным металлам (ЩМ). Состояние вопроса на конец XX века детально представлено в монографии [2]. За 20 лет произошло заметное повышение уровня чистоты ЩМ – на порядок по содержанию примесей металлов [2, 3].

В статье рассмотрен примесный элементный состав массива ЩМ Выставки-коллекции. Для установления статистических характеристик примесного состава образцов по неполным данным анализа применен метод, использованный в работе [1] с аналогичным разбиением примесей на классы:

- газообразующие и легкие *p*-элементы (ГО и легкие) – H, C, N, O, F, Cl, B, Al, Si, P, S;
- остальные *p*-элементы – 13 стабильных элементов 13–16-й групп ПС;
- переходные металлы (ПМ) – 26 стабильных элементов 4–12-й групп ПС;
- ЩМ – 5 стабильных элементов 1-й группы ПС;
- щелочноземельные металлы (ЩЗМ) – 5 стабильных элементов 2-й группы ПС;

– редкоземельные элементы (РЗЭ) – 16 стабильных элементов 3-й группы ПС.

Приводится информация о достигнутом в настоящее время уровне чистоты ЩМ и их соединений в России и мире. Уровень чистоты представлен числом девяток ($6N = 99.9999$ мас. % основы, $5N5 = 99.9995$ мас. % основы и т.д.) [1].

ЩЕЛОЧНЫЕ МЕТАЛЛЫ НА ВЫСТАВКЕ-КОЛЛЕКЦИИ ВЕЩЕСТВ ОСОБОЙ ЧИСТОТЫ

На Выставке-коллекции в настоящее время 10 образцов ЩМ, основная часть которых поступила до 2000 года; в XXI веке поступили образцы лития и цезия. Образцы прошли глубокую очистку методами вакуумной дистилляции и ректификации.

Литий. На Выставке-коллекции находится один образец лития (ПАО “Новосибирский завод химических концентратов” (ПАО НЗХК), поступил в 2005 г.). Из 73 проконтролированных примесей установлено содержание 8, их сумма равна 7×10^{-3} ат. %. Основной вклад вносят примеси бария и кремния $(1-2) \times 10^{-3}$ ат. %. Оценка суммарного содержания всех примесей составляет 9×10^{-3} ат. %. Суммарное содержание примесей металлов составило 8×10^{-3} ат. % (7×10^{-2} мас. %), что соответствует уровню чистоты образца 3N3.

Натрий, калий. На Выставке-коллекции имеется по два образца натрия и калия, представленных Институтом химии и технологии редких эле-

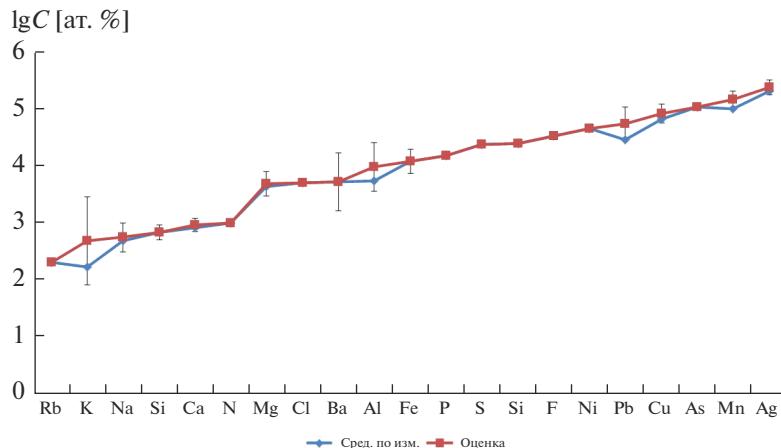


Рис. 1. Среднее содержание примесей в образцах ЩМ, для которых есть измеренные значения концентрации (оценки приведены с доверительными интервалами; для 11 примесей указано единственное измеренное значение концентрации).

ментов и минерального сырья им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН (ИХТРЭМС КНЦ РАН) и Ловозерским ГОК. Образцы из ИХТРЭМС КНЦ РАН описаны в [2]. Оценка суммарного содержания примесей составляет $\sim 1.5 \times 10^{-3}$ ат. %. Уровень чистоты образцов по примесям металлов 4N8–5N.

Рубидий. Два образца рубидия на Выставку-коллекцию поступили из ИХТРЭМС КНЦ РАН. Оценка суммарного содержания примесей в более чистом из них составляет 9×10^{-3} ат. % (4×10^{-3} мас. %) [2]. Уровень чистоты данного образца по примесям металлов 4N7.

Цезий. На Выставке-коллекции имеются три образца цезия (два поступили из ИХТРЭМС КНЦ РАН и один из ПАО “Химико-металлургический завод” (ПАО ХМЗ), Красноярск, в 2007 г.) Один из образцов ИХТРЭМС КНЦ РАН описан в [2]. Оценка суммарного содержания примесей, найденная в нем как сумма классов примесей, составляет 8×10^{-2} ат. %. Определяющий вклад в эту величину вносят примеси ЩМ (аналогов), уровень чистоты данного образца по примесям металлов составляет 3N8. Образец, предоставленный ПАО ХМЗ, по паспорту производителя соответствует уровню чистоты 5N.

Соединения ЩМ. На Выставке-коллекции присутствуют пять образцов галогенидов ЩМ: LiBr, NaF, NaCl, CsCl, CsI. Образцы поступили из АО “Гиредмет”, ИХВВ РАН и ООО “Ланхит”. Их примесный состав детально описан в [4], суммарное содержание примесей в образцах $(1-5) \times 10^{-3}$ мас. % без учета примесей кислорода и водорода. Уровень чистоты по металлам составляет 4N7–5N.

Характеристики примесного состава массива ЩМ. Обследованность массива образцов ЩМ на примеси составляет 28% (общая) и 10% для примесей с измеренной концентрацией.

На рис. 1 приведена оценка среднего содержания 21 примеси с измеренной концентрацией для массива образцов ЩМ. Средняя концентрация отдельных примесей в массиве находится в интервале $4 \times 10^{-6}-5 \times 10^{-3}$ ат. %; наиболее высокое значение концентрации на уровне $(5-1) \times 10^{-3}$ установлено для примесей рубидия, калия, натрия, кремния и кальция. Для 50 примесей средние пределы обнаружения лежат в интервале $4 \times 10^{-7}-1 \times 10^{-4}$ ат. %.

В табл. 1 приведена оценка ($-\lg$) среднего суммарного содержания и содержания различных классов примесей в массиве образцов ЩМ. Уточненная оценка среднего ($-\lg$) суммарной концентрации примесей во всем массиве образцов ЩМ, найденная как сумма оценок для всех классов примесей, составляет (2.76 ± 0.33) . Она значительно ниже, чем оценка во всем массиве образцов, полученная без разбиения примесей на классы (1.77 ± 0.40) .

Примеси классов ЩЗМ и ЩМ вносят основной вклад в суммарное содержание примесей в ЩМ, равный 8×10^{-4} и 6×10^{-4} ат. % соответственно. Оценка среднего суммарного содержания примесей класса “ГО и легкие” составляет 2×10^{-4} ат. %, примесей класса ПМ – 1.5×10^{-4} ат. %, p -элементов – 3×10^{-6} ат. %. Класс примесей РЗЭ представлен пределами обнаружения; верхняя граница содержания примесей данного класса составляет 4×10^{-5} ат. %. Оценка среднего суммарного содержания примесей как суммы классов в “типовом” образце ЩМ равна 1.7×10^{-3} ат. % (2.3×10^{-3} мас. %). Среднее суммарное содержание примесей всех металлов составляет 2×10^{-3} мас. % (87% от суммы всех примесей), что соответствует среднему уровню чистоты массива образцов ЩМ Выставки-коллекции по металлам 4N8.

Таблица 1. Интегральные характеристики примесного состава массива образцов ЩМ. Разложение на классы примесей, ($-\lg$) концентрации, ат. %

Примеси	\bar{X}	S_X	\bar{Y}	S_Y	N_X	N_Y	$-\lg \text{Sum}_X$	$-\lg \text{Sum}_Y$	$-\lg \text{Sum}$	$\pm \Delta \lg \text{Sum}$
Все примеси массива (без разбиения на классы)	4.02	1.00	5.19	0.90	57	101	2.27	3.16	1.77	0.40
ЩЗМ	3.53	0.65	3.76	1.21	11	4	2.90	3.86	3.11	0.30
ЩМ	2.43	0.86	4.14	1.65	7	5	1.94	3.91	3.25	0.89
ГО и легкие	3.66	0.71	4.73	0.89	10	2	2.98	4.73	3.61	0.51
ПМ	4.74	0.55	4.97	0.68	24	45	3.93	3.74	3.83	0.22
Остальные p -элементы	4.57	0.31	5.63	0.76	5	29	4.57	4.39	5.47	0.61
РЗЭ			5.73	0.32		16		4.44	>4.44	
Сумма классов примесей									2.76	0.33

Примечания. \bar{X} , S_X – среднее и среднеквадратичное отклонение для величины $X = -\lg x$ (x – концентрация примеси); \bar{Y} , S_Y – то же для $Y = -\lg y$ (y – предел обнаружения); N_X – число примесей с установленной концентрацией; N_Y – число примесей с установленным пределом обнаружения; $-\lg \text{Sum}_X$ – ($-\lg$) среднего суммарного содержания примесей с измеренной концентрацией; $-\lg \text{Sum}_Y$ – ($-\lg$) средней суммы пределов обнаружения примесей; $-\lg \text{Sum}$, $\pm \Delta \lg \text{Sum}$ – оценка ($-\lg$) среднего суммарного содержания примесей и ее неопределенность.

СОВРЕМЕННЫЙ УРОВЕНЬ ЧИСТОТЫ ЩЕЛОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РОССИИ И МИРЕ

Мировой уровень чистоты для ЩМ по каталогам зарубежных фирм в настоящее время составляет $5N$, для Rb – $3N+$; для соединений всех ЩМ достигнут уровень $5N$. Значительное число зарубежных фирм производит продукцию чистотой $3N$ – $4N$.

Разработки российских научно-исследовательских институтов и ВУЗов. Разработка методов получения особо чистых и высокочистых ЩМ и их соединений проводилась большим числом научных организаций СССР и России [5–20].

В ИХТРЭМС КНЦ РАН в 1960–80 гг. была разработана технология и организовано опытно-промышленное производство высокочистых ЩМ и их соединений. Глубокая очистка ЩМ до уровня $4N$ – $5N$ проводилась методом вакуумной дистилляции с частичной дефлегмацией пара [5–7]. Образцы Na , K , Rb , Cs были представлены на Выставку-коллекцию и до сих пор в основном соответствуют мировому уровню. Технология была внедрена на ООО “Ловозерский ГОК”. Институтом разработаны: технология гранулированного CsI особой чистоты для производства сцинтилляционных монокристаллов с низким содержанием примесей Rb и K ($<1 \times 10^{-4}$ мас. %), что дает возможность использовать продукт для производства низкофоновых детекторов [8]; технология получения кристаллов ниобата лития $LiNbO_3$ оптического качества, обладающих повышенной стойкостью к лазерному излучению [9].

АО “ВНИИХТ” развивает технологии получения лития (сподуменовый концентрат, соли лития, материалы на основе лития) [10]. Технологии были разработаны во второй половине XX века и внедрены на ряде предприятий [11].

В АО “Гиредмет” и ООО “Ланхит” (Москва) были разработаны способы получения и глубокой очистки ЩМ их соединений различными методами до уровня $4N$ – $5N$ [12, 13].

Институтом высокотемпературной электрохимии (ИВТЭ) УрО РАН была разработана технология получения высокочистых натрия, калия, рубидия, цезия чистотой $3N$ – $4N$, выпущены опытные партии цезия.

ФГУП “Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ НИЦ “Курчатовский институт” (НИЦ “Курчатовский институт” – ИРЕА) – крупнейший разработчик технологий получения продуктов особой чистоты в СССР и России. В том числе выпускались соединения ЩМ до ОСЧ 9-4, ОСЧ 7-5.

Разработка методов получения особо чистых ЩМ последние два десятилетия проводилась рядом научных организаций. Сообщается о новых разработках в области получения высокочистых и особо чистых ЩМ и их соединений [21–26].

В НИТУ “МИСиС” создана экспериментальная установка для производства соединений лития по высокоэффективной технологии кислотной переработки отечественного сырья [27]. Литиевые месторождения в настоящее время в России не разрабатываются, и литийсодержащая продукция производится из импортного сырья [28, 29].

Таблица 2. Некоторые производители ЩМ и их соединений чистотой 3N–5N в Российской Федерации (указанные отдельные виды продукции)

Предприятие, организация	Продукция
ПАО “Химико-металлургический завод” (ПАО ХМЗ), Красноярск cmplithium.ru	Все ЩМ в форме простого вещества чистотой 3N (Li), 4N (Na, K, Rb), 4N-5N (Cs). (Образец Выставки-коллекции Cs чистотой 5N, поступил в 2007 году.)
ООО “Ланхит”, Москва http://lanhit.ru/	В настоящее время предлагается K 3N5. Производились Na 3N5, Rb и Cs 4N. Соединения ЩМ чистотой до 5N (LiI, NaI, NaBr, K ₂ TaIF ₇ , CsBr, CsNO ₃ – 5N; RbI, RbNO ₃ – 4N)
ООО “Завод редких металлов”, 630559, Новосибирская обл., р.п. Кольцово www.cesium.ru	Широкая номенклатура соединений Li, Rb, Cs квалификаций “ч.”, “х. ч.”, “ос. ч.” (LiIO ₃ для монокристаллов – ОСЧ 18-2; Li ₂ SO ₄ , Li ₂ CO ₃ – “ос. ч.”; RbNO ₃ , Rb ₂ SO ₄ , Rb ₂ CO ₃ – “ос. ч.”; CsI для монокристаллов – 5N, CsNO ₃ – ОСЧ 19-3, CsBr – ОСЧ 18-3)
ПАО “Новосибирский завод химических концентратов” (ПАО НЗХК) www.nccp.ru	Li 3N и соли лития. (Образец Выставки-коллекции Li чистотой 3N3, поступил в 2005 году.) ⁷ LiOH·H ₂ O с атомной долей ⁷ Li относительно суммы изотопов лития > 99.99%
ООО “Компонент-реактив”, Москва http://www.component-reaktiv.ru/	Выпускает Li и Na чистотой 3N, особо чистые гидроксиды Li, Na, K
ООО “Унихим”, Санкт-Петербург http://unichim.su	Соединения Li квалификаций “ч.”, “х. ч.”; соединения Na и K квалификаций “ч.”, “х. ч.”, “ос. ч.” В том числе: Li ₂ CO ₃ “ч.”, “х. ч.”; KNO ₃ для волоконной оптики ОСЧ 7-5; KNO ₃ для оптического стекловарения ОСЧ 7-4; Na ₂ CO ₃ для волоконной оптики ОСЧ 7-5; NaCl ОСЧ 6-4
ООО “ТД “ХАЛМЕК”, Тульская область, Щёкинский район https://halmeklithium.com/media/1298/high-purity-grade-rus.pdf	LiOH·H ₂ O различных сортов чистотой до 4N
ФГУП “ПО “Маяк”, Челябинская обл., г. Озерск https://www.po-mayak.ru/products_services/products/radioisotope_products/	Производит ¹³⁷ Cs для источников гамма-излучения

Таблица 3. Достигнутый максимальный уровень чистоты ЩМ и их соединений в России и мире

ЩМ	Li	Na	K	Rb	Cs
Зарубежные фирмы	5N 5N*	5N 5N	5N 5N	3N+ 5N	5N 5N
Россия	3N 5N	4N 5N	4N 5N	4N 4N	5N 5N
Выставка-коллекция	3N3 5N	4N8 5N	5N	4N7	5N 5N

* Соединения ЩМ.

В ОАО “Институт реакторных материалов” для нужд ядерной медицины организовано производство радиоизотопа ^{131}Cs с радиохимической чистотой не менее 99.99% [30].

Производство ЩМ и их соединений чистотой $\geq 2\text{N}$ в России. В России уровень 5N достигнут для соединений ЩМ и цезия. Выпускаются ЩМ и их соединения квалификации “ос. ч.” для монокристаллов, оптического стекловарения, волоконной оптики и др. До сих пор предлагается к продаже высокочистая (5N–6N) щелочная продукция ООО “Ловозерский ГОК” конца прошлого века [31].

Ряд предприятий производит ЩМ и их соединения чистотой 3N–5N, в их числе ПАО “Химико-металлургический завод”, ООО “Ланхит”, ООО “Завод редких металлов”, ООО “Унихим”, ПАО “Новосибирский завод химконцентратов” и другие организации; выпускается изотопно-чистая продукция (табл. 2).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В конце прошлого века в СССР, затем в России были разработаны методы получения ЩМ в форме простого вещества и соединений ЩМ чистотой до 5N–6N. Уровень зарубежных фирм в то время составлял 4N [2, 3].

В настоящее время в России выпускаются соединения ЩМ чистотой 5N, соответствующие современному мировому уровню. Чистота металлического натрия, калия и рубидия – не выше 4N, лития – 3N, цезия – 4N–5N (табл. 3).

Чистота образцов ЩМ Выставки-коллекции в форме простого вещества, поступивших в основном в последней четверти XX века, соответствует современному мировому уровню (кроме лития). Структура примесного состава образцов свидетельствует о преобладающем вкладе примесей ЩМ и ЩЗМ в суммарное содержание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лазукина О.П., Малышев К.К., Волкова Е.Н., Чурбанов М.Ф.* Уровень чистоты щелочноземельных металлов (по материалам Выставки-коллекции веществ особой чистоты) // Неорган. материалы. 2021. Т. 57. № 11. С. 1235–1240.
2. *Девятых Г.Г., Карпов Ю.А., Осипова Л.И.* Выставка-коллекция веществ особой чистоты. М.: Наука, 2003. 236 с.
3. *Karpov Yu.A., Churbanov M.F., Baranovskaya V.B., Lazukina O.P., Petrova K.V.* High purity substances – prototypes of elements of Periodic Table // Pure Appl. Chem. 2020. V. 92. № 8. P. 1357–1366.
4. *Лазукина О.П., Малышев К.К., Волкова Е.Н., Чурбанов М.Ф.* Примесный состав высокочистых твердых галогенидов // Неорган. материалы. 2019. Т. 55. № 12. С. 1351–1362.
5. *Плющев В.Е., Степин Б.Д.* Химия и технология соединений лития, рубидия и цезия. М.–Л.: Химия, 1970. 407 с.
6. *Локшин Э.П.* О получении высокочистых натрия, калия, рубидия и цезия вакуумтермическими методами // Журн. прикл. химии. 1996. Т. 69. № 4. С. 555–561.
7. *Локшин Э.П.* Исследования по получению высокочистых редких щелочных металлов на Кольском полуострове // Кольскому научному центру РАН-70 лет: Природопользование в Евро-Арктическом регионе. Опыт XX века и перспективы. Апатиты: Изд. Кольского научн. центра РАН, 2002. 487 с.
8. <http://chemi-ksc.ru/m-osnovnoe/gotovye-tehnologii/453-tsezij-iodistij-osoboj-chistoty-granulirovannyyj-dlya-proizvodstva-stsintillyatsionnykh-monokristallov>
9. *Калинников В.Т., Палатников М.Н., Сидоров Н.В.* Фундаментальные основы технологии высокосовершенных монокристаллов ниобата лития // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. Сб. статей. Апатиты: Изд. Кольского науч. центра РАН, 2005. 511 с.
10. <https://vniiht.ru/production/redkie-i-redkozemelnye-metally-i-ih-soedineniya/>
11. *Федоров В.Д.* Разработка технологий получения чистых соединений редких металлов // ВНИИХТ – 50 лет. Юбилейный сборник трудов. 2001. С. 284–295. http://elib.biblioatom.ru/text/vniiht-50-let_2001/go_286/
12. *Полетаев И.Ф.* Современное состояние и основные направления развития производства редких щелочных элементов // Гиредмет на службе научно-технического прогресса. Сб. статей. М.: Ротапринт Гиредмета, 1981. С. 102–117.
13. *Чувилина Е.Л., Гасанов А.А.* Получение безводных неорганических галогенидов для выращивания монокристаллов // Сб. трудов XIII Российско-китайского симп. “Новые материалы и технологии”. М.: Интерконтакт Наука, 2015. Т. 2. С. 762–766.
14. *Федоров А.П., Данилkin В.И., Бергер А.С., Томилов Н.П.* Получение металлического натрия // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. 1978. № 4. С. 132–136.
15. *Князев Д.А., Клинский Г.Д., Просянов Н.Н., Иванов С.А., Демин С.В.* Способ разделения и глубокой очистки щелочных и щелочноземельных металлов: А. с. СССР, № 791392 (заявка 1979 г., опубликовано в 1981 г.).
16. *Ордынский А.М., Попов Р.Г., Постаногов В.П., Самсонов Н.В., Тарбов А.А.* Очистка калия от примесей вакуумной дистилляцией // Теплофизика высоких температур. 1976. Т. 14. № 4. С. 857–865.
17. *Смирнов Г.И., Черняк А.С., Каучур Н.Я., Огородникова А.А.* Получение солей натрия особой чистоты // Высокочистые вещества. 1989. № 3. С. 144–147.
18. *Казыминская В.А., Архипов С.М., Шкловская Р.М., Кидяров Б.И.* Метод получения иодата лития особой чистоты // Тез. докл. VI Всесоюз. конф. по методам получения и анализа высокочистых веществ. Горький. 1981. С. 88.
19. *Вершинин С.Л.* Получение высокочистого фторида натрия // Высокочистые вещества. 1990. № 1. С. 20–31.

20. Горшков В.И., Иванов В.А., Стасина И.В. Очистка соединений редких щелочных металлов с использованием дипольных ионидов // Высокочистые вещества. 1995. № 6. С. 78–93.
21. Факеев А.А., Мурский Г.Л., Красильщик В.З. Исследование и разработка метода получения ацетата калия особой чистоты // Журн. прикл. химии. 2012. Т. 85. № 12. С. 1917–1923.
22. Ретивов В.М., Амелина А.Е., Гринберг Е.Е. Исследование процесса кристаллизационной очистки изопропилата лития с использованием методов ICP // Наукоемкие технологии. 2013. № 3. С. 62–66.
23. Пилищук О.В., Факеев А.А., Вендило А.Г., Бессарабов А.М. Кристаллизационная технология получения натрия хлорида высокой чистоты // Тез. докл. VI Междунар. науч. конф. “Кинетика и механизм кристаллизации. Самоорганизация при фазообразовании”. Иваново. (21–24 сентября) 2010. С. 213.
24. Немков М.Н., Рябцев А.Д., Мухин В.В. Получение высокочистого моногидрата гидроксида лития из литийсодержащих отходов различных производств // Изв. Томского политехн. ун-та. 2004. Т. 307. № 7. С. 80–84.
25. Милутин В.В., Некрасова Н.А., Рудских В.В., Волкова Т.С. Сорбционная очистка растворов щелочных металлов от примесей щелочноземельных и цветных металлов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2018. Т. 18. № 3. С. 365–372.
26. Иваненко В.И., Локшин Э.П., Владимирова С.В., Якубович Е.Н. Способ получения титаната лития со структурой шпинели: Патент РФ № 2542273. 2015.
27. <https://misis.ru/science/achievements/2017-04/4621/>
28. Стратегия развития промышленности редких и редкоземельных металлов в Российской Федерации на период до 2035 г. https://minpromtorg.gov.ru/docs/#!strategiya_razvitiya_otrasli_redkih_i_redkozemelnyh_metallov_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2035_goda
29. Наумов А.В. Литий: сверхвозможности суперметалла // Редкие земли. 2016. № 2(7). С. 140–149.
30. <http://irm-atom.ru/proizvodstvo-radionuklidnoy-produkciyi>
31. Интернет-магазин: особо чистые вещества, соединения и элементы в различной форме. <https://ochv.ru/>